

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B22F 3/105 (2006.01)

B29C 67/00 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200380106462.1

[43] 公开日 2006 年 1 月 25 日

[11] 公开号 CN 1726109A

[22] 申请日 2003.12.12

[21] 申请号 200380106462.1

[30] 优先权

[32] 2002.12.19 [33] SE [31] 0203765-3

[86] 国际申请 PCT/SE2003/001937 2003.12.12

[87] 国际公布 WO2004/056509 英 2004.7.8

[85] 进入国家阶段日期 2005.6.17

[71] 申请人 阿卡姆股份公司

地址 瑞典默恩达尔

[72] 发明人 摩根·拉尔森

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商

标事务所

代理人 董 莘

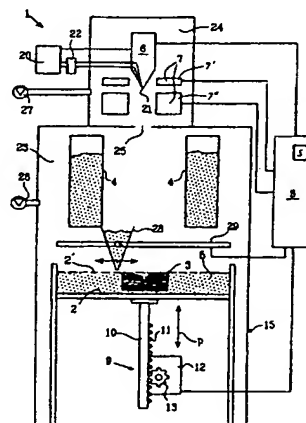
权利要求书 4 页 说明书 27 页 附图 12 页

[54] 发明名称

制造三维产品的装置及方法

[57] 摘要

一种通过连续熔合粉末床的选定区域从而制造三维物体的装置和方法，该部分对应于三维物体的连续截面，这种方法包括以下的方法步骤：将粉末层散布到工作平台，根据为粉末层确定的操作方案，从辐射枪给粉末层中所述选定区域提供能量，根据所述操作方案将选定的粉末层区域熔合，从而形成所述的三维物体的截面，三维物体是通过连续地熔合从连续散布的粉末层中连续形成的截面而形成的。



1、一种用于通过连续熔合粉末床选定区域来制造三维物体的方法，所述部分对应于所述三维物体的连续截面，所述方法包括下列方法步骤：

将粉末层散布到工作平台上，

根据为所述粉末层确定的操作方案，将能量从辐射枪提供给所述粉末层中的所述选定区域，

根据所述操作方案熔合所述选定的粉末层区域，以形成所述三维物体的截面，

通过连续地熔合由连续散布的粉末层连续形成的截面来形成三维物体，

其特征在于，所述选定区域被划分成多个更小部分区域，每个所述部分区域包括内部区域 I 和边界 R。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在第一过程步骤中熔合一组相邻部分区域的内部区域 I，然后在随后的第二过程步骤中，属于所述相邻部分区域的边界 R 被熔合并且连接所述部分区域。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，安排所述操作方案，以借助于随机数发生器确定用于处理所述多个更小部分区域的优先级。

4、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在第一过程步骤中为大量连续粉末层熔合所述边界，然后在所述连续粉末层公共的第二过程步骤中熔合所述连续粉末层的内部区域。

5、根据前述权利要求中任一项所述的方法，其特征在于，在用于所述辐射枪射束焦点的移动图案期间熔合所述内部区域，所述移动图案包括主移动方向和干扰项，所述干扰项被添加到所述主移动方向，

并且在与所述主移动方向成直角的方向上具有分量。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其特征在于，在所述辐射枪射束的主要为直线的移动期间熔合所述边界。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法，其特征在于，为每一粉末层中至少一个部分区域计算能量平衡，在计算中确定从所述部分区域的周围辐射进所述部分区域的能量是否足以维持所述部分区域的规定工作温度。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，如果所述能量平衡计算的结果是不存在维持所述部分区域预期工作温度的足够能量，则除了用于熔合所述部分区域的能量之外，提供用于加热所述部分区域的能量，从而达到所述部分区域的规定工作温度。

9. 根据权利要求 7 或 8 所述的方法，其特征在于，根据  $E^{\text{in}}(i) = E^{\text{out}}(i) + E^{\text{heat}}(i)$  计算每一粉末层的能量平衡，其中  $E^{\text{in}}(i)$  表示馈入所述部分区域的能量， $E^{\text{out}}(i)$  表示从所述部分区域耗散和辐射的能量损失， $E^{\text{heat}}(i)$  表示存储在所述部分区域中。

10. 根据权利要求 7-9 中任一项所述的方法，其特征在于，为每个所述部分区域计算能量平衡。

11. 一个用于制造三维产品的装置，所述装置包括工作平台，在所述工作平台上构建所述三维产品；粉末散布器，用于在所述工作平台上散布粉末薄层，以形成粉末床；辐射枪，用于传递能量给所述粉末，然后熔合所述粉末；用于把所述辐射枪所发射的射束定向到所述粉末床上，以通过熔合所述粉末床的部分而形成所述三维产品的截面的单元；以及控制计算机，在所述控制计算机中存储所述三维产品连

续截面的信息，所述截面形成所述三维物体，其中所述控制计算机用于根据形成所述三维物体截面的操作方案来控制所述用于将所述辐射枪定向到所述粉末床上的单元，通过连续地熔合由散布器连续形成的截面来形成所述三维产品，

其特征在于，设置所述控制计算机，以将所述选定区域划分成多个更小部分区域，每个所述更小部分区域包括内部区域 I 和边界 R。

12. 根据权利要求 11 所述的装置，其特征在于，设置所述辐射枪，以在第一过程步骤中熔合一组相邻部分区域的内部区域 I，然后在随后的第二过程步骤中所述边界 R 被熔合并且连接所述部分区域。

13. 根据权利要求 11 或 12 所述的装置，其特征在于，设置所述操作方案，以借助于随机数发生器确定处理所述多个更小部分区域的优先级。

14. 根据权利要求 11 所述的装置，其特征在于，在第一过程步骤中为大量连续粉末层熔合所述的边界，然后在对所述连续粉末层共同的第二过程步骤中，熔合所述连续粉末层的内部区域。

15. 根据权利要求 11-14 中任一项所述的装置，其特征在于，安排所述操作方案，以利用移动图案将所述辐射枪射束焦点定向到所述内部区域中，所述移动图案包括主移动方向和干扰项，所述干扰项被添加到所述主移动方向，并且在与所述主移动方向成直角的方向上具有分量。

16. 根据权利要求 11-15 中任一项所述的装置，其特征在于，设置所述辐射枪，以根据由所述控制计算机确定的操作方案，在所述辐射枪射束的主要为直线的移动期间熔合所述边界。

17. 根据权利要求 11-16 中任一项所述的装置, 其特征在于, 设置所述控制计算机, 以为每个粉末层中至少一个部分区域计算能量平衡, 在所述计算中确定从所述部分区域的周围辐射进所述部分区域的能量是否足以维持所述部分区域的规定工作温度。

18. 根据权利要求 17 所述的装置, 其特征在于, 设置所述控制计算机, 以控制所述操作方案, 如果所述能量平衡计算的结果是所述操作方案不提供用于维持所述部分区域预期工作温度的足够能量, 则除了所述用于熔合粉末层的能量之外, 提供用于加热所述粉末层的能量, 从而维持所述部分区域的规定工作温度。

19. 权利要求 17 或 18 所述的装置, 其特征在于, 设置所述控制计算机, 以根据  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$  为每一粉末层计算所述能量平衡, 其中  $E^{in}(i)$  表示馈入所述部分区域的能量,  $E^{out}(i)$  表示从所述部分区域耗散和辐射的能量损失,  $E^{heat}(i)$  表示存储在所述部分区域中的能量。

20. 根据权利要求 11-19 中任一项所述的装置, 其特征在于, 设置所述控制计算机, 以为每一所述部分区域计算能量平衡。

21. 根据权利要求 11-19 中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述装置还包括用于感测位于所述粉末床中的表面层温度分布的单元。

## 制造三维产品的装置及方法

### 技术领域

本发明涉及通过连续熔合散布到工作平台的粉末层的选定区域来制造三维产品的装置和方法的。

### 背景技术

例如从 US4863538 中已知通过连续地熔合散布到工作平台的粉末层的选定部分来制造三维产品的装置。该装置包括工作平台，所述三维产品在该平面上形成；粉末散布器，设置该粉末散布器，使得在工作平台上散布粉末薄层，以形成粉末床；辐射枪，用于传递能量给粉末，从而使粉末熔合；单元，用于把辐射枪发射的射束引导到所述粉末床以通过熔合所述粉末床的部分而形成所述三维产品的截面；以及控制计算机，其中存储有三维产品的连续截面的信息。通过熔合散布的连续粉末层的选定部分来形成三维产品。控制计算机根据重现预定图案的操作方案而控制用于辐射枪在粉末床上产生的射束的偏转单元。当操作方案已经熔合粉末层的希望区域时，就已经形成所述三维产品的截面。通过把在粉末散布器连续散布的粉末层中连续形成的截面连续地熔合在一起而形成三维产品。

从 SE 0001557-8 中已知一种用于制造三维产品的装置，其中允许在制造过程中测量所制造的三维物体的表面结构以及表面温度。通过使用文中所述的装置，可能增加所制造的三维物体的外形与希望外形的一致性。然而，在制造三维产品的过程中，已经发现所制造的产品表面应力引起形状偏差，以及可能引发裂缝形成的产品中的内部应力。

### 发明内容

本发明的一个目标是提供一种用于制造三维物体的方法，其中可能减少最终产品中表面应力的出现和由此产生的形状偏差，以及内部应力的出现。通过依据专利权利要求1特征部分的装置来实现这个目标。由于在用于制造三维物体的方法中，把对应于三维物体截面的粉末床的选定区域划分为多个包含内部区域和边界的更小部分区域，可能提供这样的操作方案，其中可以以有利的方式进行能量供应，以便确保要制造的物体顶层的工作温度能够维持在可以接受的温度范围之内。使工作表面维持在窄的温度范围内的可能性意味着可以减小所制造的产品中的表面应力。表面应力引起形状偏差，以及可能引发裂纹形成的产品内部应力。

优选在独立于围绕内部区域的边界的处理的过程步骤中处理内部区域。单独的过程步骤意味着边界是在内部区域之前或者之后完成的。

根据本发明的第一优选实施例，由于在第一过程步骤中熔合一组邻近部分区域的内部区域，并且然后在随后的第二过程步骤中熔合连接所述部分区域的边界，所以在加工之后得到三维物体，这个三维物体的内部应力与使用沿选定区域整个表面的线性扫描(sweep)图案来熔合选定区域所产生的内部应力相比具有更低的量级。这是由于两个已经被形成为固体的相邻区域可以自由移动，直到通过熔合形成公共边界线的材料来将这两个相邻区域连结在一起。因此，在无应力的状态下进行连结。

根据第二实施例，借助于随机数发生器确定处理组成选定截面的更小部分区域的优先级。与进行按接近顺序一个接一个地连续熔合相邻区域的系统计划编制相比，这个过程确保了以相对均匀的方式进行要处理的整个表面的加热。如果选定区域被分成大量的更小部分区域，优选为多于100或1000，则这种方法尤其有利。随机过程也可以包括这样的智能选择，其中与刚刚被加热的区域相邻的区域被选为下一个区域的概率较低。可以设置用于这种方法的热摄像机，以测量包括的所有区域的温度，随后根据每一个更小区域的温度来调整概率。如果

使用  $N$  个区域, 并且床温从对应于未受影响的床温的  $T_0$  变化到对应于刚刚被熔合的区域的温度的  $T_s$ , 则区域被选中的概率优选被调整为  $P(i) = T_s - T_i / \Sigma (T_s - T_n)$ 。于是, 刚被熔合的区域再次被加热的概率为 0。所有冷区域的概率是相等的, 并且区域被选取为下一个处理区域的概率线性地取决于与熔合温度相比的温度。

根据第三实施例, 如果对于物体内部的部分需要较低的均匀性等级, 则可以有利地使用该实施例, 可以改为在第一过程步骤中为许多连续粉末层熔合边界, 然后, 在用于所述连续粉末层的公共第二过程步骤中熔合所述连续粉末层的内部区域。借助于这种处理, 获得具有光滑外表面以及对应于内边界的内部分块的物体, 其中内部分块具有高的坚硬度。中间的内部区域具有较低熔合程度, 从而可能获得某种多孔结构。因为这种情况中的产品有利地不是完全均匀的, 所以内部应力出现的风险就被减少了, 这是因为内部多孔结构中特定运动能力允许削弱内部应力。

根据本发明的第四实施例, 在辐射枪的射束焦点移动图案期间熔合内部区域, 这个焦点移动图案包括主运动方向和干扰项, 干扰项被添加到所述主运动方向上, 并且在与主运动方向成直角的方向上具有分量。干扰项具有对应于主运动方向零位漂移的时间平均值。主运动方向上的传播速度优选对应于被处理材料的熔合区的传播速度。主运动方向可以具有任何曲线形状, 例如直线的, 曲线的, 圆周的。主运动方向的外形适应要创建的物体的形状。然而, 干扰项不适应物体的形状, 但是设计干扰项, 以便在焦点周围区域中提供更好的局部热分布。因此, 射束的移动图案确保将辐射枪的能量以更均衡的强度提供给粉末层, 减少了过热的风险。这也反过来减少了最终产品中出现形状偏差和应力的风险。根据优选实施例, 在辐射枪射束的主要为沿着边界形状的直线的运动期间熔合边界。由于在沿边界形状的运动期间熔合边界, 就保证了完成的物体的侧面是光滑的。

根据本发明的另一优选实施例, 为每一粉末层计算能量平衡, 在计算中确定在根据为粉末层所确定的操作方案从辐射枪进行所述能量



供应以根据所述操作方案熔合选定的粉末层区域时馈入粉末层中的能量是否足以维持下一层的规定工作温度, 获取信息, 使得可能维持规定的温度。通过在制造所有层期间维持规定的工作温度, 也就是说给定的规定温度范围中的表面温度, 确保在三维物体冷却太过强烈时产生的表面应力出现被减少了。这也反过来导致最终产品具有减少的形状偏差以及最终产品中内部应力的出现。

本发明的另一个目标是提供一种用于制造三维物体的装置, 其中可能减少最终产品中表面应力的出现和由此产生的形状偏差, 以及内部应力的出现。由依据专利权利要求 11 特征部分的装置实现这个目标。

根据本发明的第一优选实施例, 设置辐射枪, 以便在第一过程步骤中熔合一组相邻部分区域的内部区域, 然后在随后的第二过程步骤中熔合连接所述部分区域的边界, 在加工之后得到三维物体, 与使用沿选定区域整个表面的线性扫描图案熔合选定区域相比, 这个三维物体具有更低水平的内部应力。这是由于两个已经被形成为固体的相邻区域可以自由移动, 直到通过熔合形成公共边界线的材料而使这两个相邻区域被连结到一起。于是, 连结发生在无应力的状态下。

根据第二实施例, 设置随机微发生器, 以确定处理组成选定表面的更小部分区域的优先级。与进行按接近顺序一个接一个地连续熔合相邻区域的系统计划编制相比, 这个过程确保了以相对均匀的方式进行对待处理的整个表面的加热。如果选定区域被分成微区很多的更小部分区域, 优选多于 100 或 1000, 则这种方法尤其有利。随机过程也可以包括这样的智能选择, 其中与刚刚被加热的区域相邻的区域被选为下一个区域的概率较低。可以设置用于这种方法的热摄像机, 以测量包括的所有区域的温度, 随后根据每一个更小区域的温度来调整概率。如果使用  $N$  个区域, 并且床温从对应于未受影响的床温的  $T_0$  变化到对应于刚刚被熔合的区域的温度的  $T_n$ , 则区域被选中的概率优选被调整为  $P(i) = T_0 - T_n \sum (T_0 - T_n)$ 。于是, 刚被熔合的区域再次被加热的概率为 0。所有冷区域的概率是相等的, 并且区域被选取为下一

个处理区域的概率线性地取决于与熔合温度相比的温度。

根据第三个实施例，如果对于物体内部的部分需要较低均匀性等级，则可以有利地使用该实施例，设置辐射枪，以便在第一过程步骤中为大量连续粉末层熔合边界，然后，在用于所述连续粉末层的公共第二过程步骤中熔合所述连续粉末层的内部区域。借助于这种处理，得到的物体具有光滑的外表面以及对应于内边界的内部分块，其中内部分块具有高的坚硬度。中间的内部区域的熔合程度较低，可能获得特定的多孔结构。因为这种情况中产品有利地不是完全均匀的，所以内部应力出现的风险就被减少了，这是因为内部多孔结构中的特定运动能力允许削弱内部应力。

根据本发明的第四实施例，设置操作方案，以提供辐射枪射束焦点的移动图案，这个焦点移动图案包括主运动方向和干扰项，干扰项被添加到所述主运动方向，并且在与主运动方向成直角的方向上具有分量。干扰项具有对应于主运动方向零位漂移的时间平均值。主运动方向上具有的传播速度优选地对应于被处理材料的熔合区的传播速度。主运动方向可以具有任何曲线形状，例如直线的，曲线的，圆周的。主运动方向的外形适应要创建的物体的形状。然而，干扰项不适应物体的形状，但是设计干扰项，以便在焦点周围区域中提供更好的局部热分布。因此，射束的移动图案确保了以更均衡的强度提供辐射枪的能量给粉末层，减少了过热的风险。这也反过来减少了最终产品中形状偏差和应力出现的风险。根据优选实施例，在辐射枪射束的主要是沿边界形状的直线运动期间熔合边界。由于在沿边界形状的运动期间熔合边界，保证了完成的物体的侧表面是光滑的。

在本发明的优选实施例中，设置包括在装置中的控制计算机，以计算每一粉末层的能量平衡，在计算中确定当根据为粉末层确定的操作方案进行所述来自辐射枪的能量供应以根据所述操作方案熔合选中的粉末层区域时输入粉末层的能量是否足以维持下一层的规定工作温度，获取信息，使得可能维持规定的工作温度。通过在生产所有层期间维持规定的工作温度，也就是说处在给定的规定温度范围中的表面

温度，确保减少了在三维物体冷却太过强烈时发生的表面应力出现。这反过来导致了最终产品具有减少的形状偏差出现，以及最终产品中减少的内部应力出现。

#### 附图说明

以下将结合附图对本发明做更详细的描述，其中：

图 1 表示依据本发明的装置的截面，

图 2 表示具有内部区域和边界的待熔合区域，

图 3 表示把待熔合区域进一步划分成一组具有各自内部区域和边界的单独区域，

图 4 概略地表示了在第一过程步骤中如何处理多个相邻内部区域、然后在随后的第二过程步骤中如何熔合属于所述相邻部分区域的边界的例子，

图 5 表示被划分成大量正方形内部区域的选定区域，

图 6 表示多个连续粉末层，其中将边界和中间新的粉末散布熔合到一起，然后，在随后的公共过程步骤中处理几个粉末层的内部区域，

图 7 表示图 6 的顶视图，

图 8 表示一组具有一维干扰项的不同的曲线形状，

图 9 概略地表示物体中热分布是怎样的，其中辐射枪直径为  $D$  的焦点已经加热物体，一方面存在干扰项，另一方面不存在干扰项，

图 10 表示与焦点沿主运动方向移动相比的焦点运动例子，

图 11 表示一组具有二维干扰项的不同的曲线形状，

图 12 表示根据本发明优选实施例的焦点移动图案，

图 13 表示焦点的定位以及其中发生了熔合的扩展区域，

图 14 概略地表示由多个粉末层以及顶部粉末层形成的三维物体的截面，

图 15 表示被划分成一组单独区域的选定区域，

图 16 表示用于计算能量平衡的示意模型，

图 17 表示用于计算能量平衡的另一示意模型,

图 18 表示从装有透明窗的小室侧得到的视图,

图 19 表示用于馈送和固定用于保持窗透明度的防护膜的装置,

图 20 概略地表示制造三维物体的方法,

图 21 表示产生基本操作方案的流程图,

图 22 表示装置操作方案的流程图,

图 23 表示修正所述操作方案的流程图,

图 24 概略地表示包括修正操作方案的流程, 这个修正是借助于测量粉末床表面上温度分布的摄像机所获得的信息进行的,

图 25 概略地表示用于操作方案修正的流程,

图 26 表示三维物体的示意结构, 以及

图 27 表示图 26 中多个横面。

### 具体实施方式

图 1 表示用于制造三维产品的装置, 用 1 来表示。该装置包括工作平台 2, 在该平台上形成三维产品 3; 一个或多个粉末散布器 4 以及被设置以在工作平台 2 上散布粉末层从而形成粉末床 5 的单元 28; 辐射枪 6, 用于传递能量到粉末床, 于是熔合粉末床的部分; 设备 7, 用于把辐射枪 6 发射的射束引导到所述工作平台上, 从而通过熔合所述粉末来形成所述三维产品的横面; 以及控制计算机 8, 关于三维产品连续横面的信息被存储在该计算机中, 这些横面形成三维产品。在工作循环中, 根据所示优选实施例, 在每一个粉末层被散布后, 将相对于辐射枪逐渐降低工作平台。为了使这种移动变为可能, 在本发明的优选实施例中, 工作平台被设置为在垂直方向上是可移动的, 也就是说, 在箭头 P 所示的方向上是可移动的。这意味着工作平台从其中已经散布所需厚度的第一粉末层的初始位置 2' 开始。为了不毁坏下面的工作平台, 并且为了以足够的品质提供这一层, 这一层比散布的其他层厚, 从而避免熔穿这个第一层。随后, 工作平台连同被散布的用于形成三维产品新横面的新粉末层一起下降。在本发明的一个实施例

中, 工作平台在这一端由架子 9 支撑, 架子 9 包括至少一个带齿 11 的滚珠丝杆 10。带齿轮的步进电机或伺服电机 12 将工作平台 2 设定到希望的垂直位置。也可以使用专业人员已知的其它用于设定工作平台工作高度的装置。例如可以使用调节螺钉来取代齿条。根据本发明的可选实施例, 装置中包括的用于粉末散布的单元可以被逐渐提升, 而不是上述实施例中的工作平台下降。

设置单元 28, 以与所述粉末散布器相互作用, 从而进行材料补给。而且, 由伺服电机 (未表示) 以已知方式驱动单元 28 在工作平台上的掠过, 伺服电机使单元 28 沿导轨 29 移动, 导轨 29 是沿着粉末床的。

当散布新的粉末层时, 粉末层厚度是根据工作平台相对于前一层已经降低了多少来确定的。这意味着层的厚度能够根据需要而改变。因此, 可能在相邻层之间横面的形状变化很大时构造较薄的层, 从而获得更高的表面光洁度, 而且可能在形状变化很小或者没有变化的时候构造具有射束最大穿透厚度的层。

在本发明的优选实施例中, 辐射枪 6 包括电子枪、包括偏转线圈 7<sup>''</sup>的、用于引导辐射枪射束的单元 7。偏转线圈产生磁场, 这个磁场引导电子枪产生的射束, 从而可能引起希望位置中的粉末床表面层的熔合。辐射枪也包括高压电路 20, 这个高压电路用于以已知的方式为辐射枪提供用于安装在辐射枪中的发射极电极 21 的加速电压。发射极电极以已知的方式连接到电流源 22, 这个电流源用于加热发射极电极 21, 从而释放出电子。辐射枪的功能及构成对于本领域的专业人员来说是熟知的。

控制计算机 8 根据为每一个要熔合的层所安排的操作方案来控制偏转线圈, 从而可能根据希望的操作方案来引导辐射束。根据本发明操作方案的细节将在下文结合附图 2-9 的说明来描述。

还存在至少一个聚焦线圈 7', 设置聚焦线圈, 以便把射束聚焦到工作平台上的粉末床表面。也可以根据专业人员所熟知的许多替代方案来设置偏转线圈 7<sup>''</sup>和聚焦线圈 7'。

装置被封装在壳体 15 中, 壳体 15 封装了辐射枪 6 以及粉末床 2。

壳体 15 包括包围粉末床的第一小室 23 和包围辐射枪 6 的第二小室 24。第一小室 23 和第二小室 24 经由通道 25 彼此相通，通道 25 允许发射出的，已经在第二小室中的高压区域中被加速的电子继续进入到第一小室中，然后撞击工作平台 2 上的粉末床。

在优选实施例中，第一小室连接到真空泵 26，真空泵 26 把第一小室 23 中的气压降低到优选为大约  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  mbar 的压力。第二小室优选地连接到真空泵 27，真空泵 27 把第二小室 24 中的气压降低到约为  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  mbar 的压力。在可选实施例中，第一和第二小室可以被连接到同一个真空泵。

此外，控制计算机 8 优选地连接到辐射枪 6 以调节辐射枪的输出，并且也连接到步进电机 12 以调整粉末层连续散布之间工作平台 2 的垂直位置，从而可能改变粉末层的单独厚度。

控制计算机也连接到所述用于工作表面上粉末散布的单元 28。设置这个单元，以便在工作表面上方掠过，散布粉末层。由伺服电机（未表示）驱动单元 28，而伺服电机由所述控制计算机 8 控制。控制计算机控制扫掠，并且保证粉末按需要补给。因此，单元 28 中可以设置负荷传感器，从而控制计算机能够获得关于单元为空或者已经被堵塞的信息。

根据本发明的优选实施例，也设置控制计算机 8，以计算每个粉末层中要处理的选定区域的能力平衡，在计算中确定从选定区域周围辐射进选定区域的能力是否足以维持选定区域的预定工作温度。

图 2 概略地表示要被熔合的区域 35。该区域包括由边界 R 划界的内部区域 II。根据本发明，以这样的方式设计操作方案，使得要被熔合的区域，也就是说选定的区域，被划分成一个或多个内部区域 II，每个内部区域 II 具有边界 R。优选地在与围绕内部区域的边界处理分开的过程步骤中处理内部区域。单独的过程步骤意味着在内部区域之前或者之后完成边界。

附图 3 概略地表示要被熔合的区域 35。该区域被划分成多个部分区域 80-91，每一个部分区域具有内部区域和边界。根据本发明的第



一优选实施例,在第一过程步骤中熔合一组相邻部分区域的内部区域 I,然后在随后的第二过程步骤中熔合所述边界 R 并且连接所述部分区域。通过这样的过程,减小了三维物体在冷却后弯曲应力的出现。

附图4概略地表示在第一过程步骤中如何处理多个相邻内部区域的例子,包括用第一操作方案 1'执行的内部区域 86 的熔合。图示的操作方案 1'包括如下文所述的部分重叠的螺旋状运动。然后,按照第二操作方案 2'熔合内部区域 81。也根据第三操作方案 3'熔合内部区域 80。最后,根据第四操作方案 4'熔合内部区域 88。这样,已经在第一过程步骤中熔合了一组相邻的部分区域。随后,熔合围绕这些相邻部分区域 80、81、86、88 的边界。这是根据包括熔合外部边缘的第五操作方案 5'和包括将部分区域相互划界的内部边缘的第六操作方案 6'来实现的。

根据第二优选实施例,设置操作方案,以借助于随机微发生器确定处理所述多个较小部分区域的优先级。为此,控制计算机 8 包括随机微发生器 S。如果选定区域被分成大量较小的部分区域,优选为多于 100 或 1000,则这种方法尤其有利。在附图 5 中表示了这种划分的一个例子,其中选定区域 35 被划分成大量正方形图案的内部区域。随机优先级表示如何连续处理一连串的区域 1''-6''。

根据优选实施例,随机过程也可以包括这样的智能选择,其中与刚刚被加热的区域相邻的区域被选为下一个区域的概率较低。可以设置用于这种方法的热摄像机,以测量包括的所有区域的温度,然后根据每一个较小区域的温度来调整概率。如果使用 N 个区域,并且床温从对应于未受影响的床温的  $T_0$  变化到对应于刚刚被熔合的区域的温度的  $T_n$ , 则区域被选中的概率优选地被调整为  $P(i) = T_0 - T_n \Sigma (T_0 - T_n)$ 。于是,刚被熔合的区域被再次加热的概率为 0。所有冷区域的概率是相等的,并且区域被选取为下一个处理区域的概率线性地取决于与熔合温度相比的温度。除了使用热摄像机,概率可以被逻辑地控制,并且对于点的选取,概率随着点与刚被选中的点之间距离的增加而增加。优选地基于热导率等式中的信息来准备

概率计算。当大量部分区域被熔合的时候，用于调整概率的计算变得很复杂。因此，使用上述热摄像机是有利的。

在可选实施例中，可以在第一过程步骤中熔合边界，并且在随后的过程步骤中熔合内部区域。当散布非常薄的粉末层时，这可能是有利的，如果适合，以大量内部支撑分块构造固态侧表面。然后，在随后的过程步骤中熔合内部区域，其中在辐射枪在几个层上方的公共扫描中，熔合几个粉末层。这导致了内部区域很容易被熔结，这对某些产品可能是有利的。根据本发明的这个第三实施例，在第一过程步骤中为许多连续粉末层熔合边界，随后，在用于所述连续粉末层的公共第二过程步骤中熔合所述连续粉末层的内部区域。这个过程在附图 6 和 7 中有概略的表示。

附图 6 表示许多连续层  $i, i-1, i-2$ ，其中边界  $1''', 2''', 3'''$  已经和中间新的粉末散布熔合。此后，在对几个层  $i, i-1, i-2$  共同的过程步骤中熔合内部区域 II（附图 7）。当散布较厚的层时，这种方法尤其适合于形成具有光滑外表面并且有时对应于内部边界的内部分块的物体，其中内部分块有一个很高的坚硬度。中间的内部区域具有较低的熔合程度，可能得到某种多孔结构。因为这种情况下产品有利地不是完全均匀的，所以出现内部应力的风险就被减少了，这是因为内部多孔结构中的特定运动能力允许削弱内部应力。

根据本发明的优选实施例，使用用于辐射枪射束焦点的移动图案熔合内部区域 II，这个焦点移动图案包括主运动方向和干扰项，这个干扰项被添加到所述主运动方向上，并且在与主运动方向成直角的方向上有分量。这个干扰项改变方向，并且具有对应于主运动方向零位漂移的时间平均值。附图 8 表示干扰项不同形状的三个不同例子，这三个例子中的干扰项分别为三角波、正弦波和方波形式的移动。至少，优选地在沿没有附加干扰项的边界移动期间熔合形成完成物体内部或外部侧表面的边界。

附图 9 概略地表示了物体中热分布情况，其中具有辐射枪直径  $D$  的焦点已经加热这个物体。焦点周围的温度分布是高斯钟形。用标记



为( $\alpha$ )的曲线表示没有干扰项的焦点周围的温度分布。借助于干扰项,加宽了在射束沿主移动方向传播期间处理的轨迹。加宽后的轨迹用标记为( $\beta$ )的曲线来表示。加宽后的轨迹也有较小最大值的温度分布。这减少了出现过热的风险,出现过热的结果为形成不规则结构。

干扰项优选具有这样的性质:即形成熔合区,其宽度基本上对应于干扰项在与主移动方向成直角的方向上分量的振幅的两倍。焦点在干扰项方向上移动的绝对值的平均速度优选超过材料中的热传播速度。主移动方向上的速度优选对应于材料中的热传播速度。优选地以这样一种方式适应干扰项的振幅和频率,使得在其使热传播的波前从第一零位置移动到第二零位置时,焦点能够从干扰项的值为零的、它的初始位置经过干扰项的最小值和最大值,并返回它的位置。这在附图10里有概略的描述。附图10表示焦点如何沿曲线50从第一位置51经过干扰项的最大值52、干扰项的最小值53,然后占据干扰项为零的第二位置54。在此期间,热传播的波前已经从第一位置51传播到第二位置。如果干扰项的平均速度太低,则形成在由干扰项端点所限定的路径内运行的弯曲熔合轨迹,而不是宽轨迹。

根据优选实施例,干扰项在与主移动方向平行的方向上也具有分量。在这种情况下干扰项是二维的。附图11中给出了具有二维方向的干扰项例子。

优选地在辐射枪射束的大体为直线的运动期间熔合边界R。

以用于辐射枪射束焦点的移动图案操作的目的在于,用宽轨迹,可能更慢地移动熔合区域,但和传统操作相比仍然以相对较高的速度进行熔合,其中移动图案包括主移动方向和添加到所述主移动方向的干扰项,干扰项在与主移动方向成直角的方向上具有分量。熔合区域的缓慢移动产生更少的汽化,并且减少了熔合材料飞溅和飞溅的发生。使用连续的主要为直线的运动来熔合边界的目的在于,这为完成的产品产生光滑表面。

以下是具有二维干扰项的本发明优选实施例的情况下对用于辐射枪射束的移动图案的分析,其中二维干扰项产生焦点的螺旋状移动

图案。

可以从下面的式子得到相对于 X 轴旋转、并沿着同一轴线以速度  $V_x$  移动的焦点的位置：

$$\vec{r}(t) = (V_x t + A_x \cos(\omega t))\vec{x} + A_y \sin(\omega t)\vec{y} \quad \text{Equ. 1}$$

这里， $A_x$  和  $A_y$  分别为 x 和 y 方向上的振幅。典型的“回转曲线”可能如附图 12 所示。

如果  $\omega$  被设定如下，就得到了附图 12 中表示的图案：

$$\omega = \frac{2\pi V_x}{A_x} \quad \text{Equ. 2}$$

焦点的速度由下式给出：

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = (V_x - A_x \omega \sin(\omega t))\vec{x} + A_y \omega \cos(\omega t)\vec{y} \quad \text{Equ. 3}$$

因此，它的绝对速度为：

$$\left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| = \sqrt{(V_x - A_x \omega \sin(\omega t))^2 + (A_y \omega \cos(\omega t))^2} \quad \text{Equ. 4}$$

如果焦点根据上述公式移动，则它的速度将变化，并且根据旋转方向处于 X 轴下方的最大值和上方的最小值上，或者反之亦然。为了获得以恒定速度沿附图 12 的回转曲线移动的焦点，首先计算它的平均速度：

$$V_{\text{average}} = \frac{\int_0^T \left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| dt}{T} \quad \text{Equ. 5}$$

这里：

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$V_{\text{average}}$  是焦点将移动的速度。时间 t 时，焦点已经移动了距离：

$$s = t * V_{\text{average}}$$

这个距离必须等于时间  $t'$  的回转曲线长度。因此:

$$s = t * v_{\text{average}} = \int_0^{t'} \left| \frac{dr(t)}{dt} \right| dt \quad \text{Equ. 6}$$

对于  $0 < t < T$  解等式 6, 得到作为  $t$  的函数的  $t'$ 。然后  $t'$  被应用到等式 1 中, 从而给出了作为  $t$  的函数的点位置。

使用不同速度和  $A_y$  的多个模拟已经显示, 表面以下 0.1-0.15mm 的熔合区域具有近似为  $1.8A_y$  的宽度。于是, 两条螺旋线之间的跃距应该为:

螺旋跃距 =  $1.8A_y - 0.3$

从边界到起点的距离约为:

起始跃距 =  $0.8A_y - 0.15$

附图 13 表示连续的宽熔合边界, 宽熔合边界在图中箭头所示的 X 方向上传播。图中标记了具有直径 D 的焦点。交叠图案确保在焦点以外的区域进行熔合。这样的区域被图解并被标记为符号  $\delta$ 。这些区域一起形成在箭头 X 所标示的方向上传播的总区域。

根据本发明的优选实施例, 还设置控制计算机, 以计算用于每个粉末层中至少选定的要熔合区域的能量平衡, 在计算中确定从选定区域周围辐射进选定区域的能量是否足以维持选定区域的限定的工作温度。

计算粉末层的能量平衡的目的是计算为把物体表面保持在给定温度所需要的功率。假设功率在整个表面上是恒定的。

以下描述在本发明实施例中如何执行能量平衡计算, 其中每次执行一个层的计算。

为了可能实时地计算功率, 需要简化:

1、设想温度在 x 和 y 方向上是恒定的, 并且它只在 z 方向变化, 换句话说, 整个表面具有同样的温度。

2、z 方向的温度根据  $jLt$  变化, 其中 j 表示层号,  $Lt$  是层的厚度。

3、假设熔合过程中温度分布是固定的。

下列参数对计算有影响:

不同的标号:

$i$ =顶层的标号

$j$ =层标号从 1 到  $i$

对象数据:

$L_t$ =要熔合的层的厚度[m]

$L_{cont}(j)$ =层  $j$  的轮廓线长度[m]

$A_{powt}(z)=A_{pow}(j)$ =朝向层  $j$  的粉末的面积[m]

$A(z)=A(j)$  为层  $j$  熔合的总表面积[m<sup>2</sup>]

材料性质:

$\lambda_{met}$ =材料的热导率[W/mK]

$\sigma_{met}$ =材料表面的辐射常量[W/m<sup>2</sup>K]

$\sigma_{metpow}$ =由粉末覆盖的材料表面的辐射常量[W/m<sup>2</sup>K]

$\sigma_{pow}$ =粉末表面的辐射常量[W/m<sup>2</sup>K]

$\lambda_{pow}$ =粉末的热导率[W/mK]

$h_{pow}(z)$ =从物体到粉末的热传递系数[W/m<sup>2</sup>K]

$\alpha$ =被材料吸收的辐射能量的比例

温度[K]:

$T_{sur}(i)$ =当熔合层  $i$  时影响表面的环境温度 (可以在加热罩上测量)

$T_{pow}(z)$ =粉末中的温度

$T(z)$ =物体中的温度

$T_{surf}(i)=T(iL_t)$ =在熔合层  $i$  时物体表面的希望温度。(在 AMA 中设置)

$T_{bott}(i)$ =在开始层  $i$  以前物体底部的温度 (在掠过之前测量, 或者被计算, 见下文)。

为了确定物体中温度是如何分布的, 求解一维稳态热导率等式, 等式包括考虑粉末的热损失的源项:

$$-\lambda_{met} \frac{\partial^2 T(z)}{\partial z^2} = \frac{h_{pow}(z) A_{pow}(z)}{A(z) L t} (T_{pow}(z) - T(z))$$

表面和底部的边界条件为:

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=iL t} = \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(iL t)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(iL t)}$$

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = h_{pow} (T_{bot}(i) - T(0))$$

其中 A 和 B 是两个常量。

把上面的公式改写成微分方程, 并且用 j 索引每一层:

$$-\lambda_{met} \frac{T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)}{L t^2} = \frac{h_{pow}(j) A_{pow}(j)}{A(j) L t} (T_{pow}(j) - T(j))$$

$$-\frac{\lambda_{met}}{L t} (T(i) - T(i-1)) = \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(i)}$$

$$-\frac{\lambda_{met}}{L t} (T(2) - T(1)) = h_{pow} (T_{bot}(i) - T(1))$$

其中:  $1 \leq j \leq i-2$

因为由  $T(i)$  确定表面温度, 所以表面上的边界条件事实上没有为我们提供任何关于物体中温度分布的新的东西。但是, 为了确定为将表面温度保持在  $T(i)$  所需的能量  $P_{in}$ , 就需要这个表面上的边界条件。现在, 从下述的方程组中获得  $T(j)$ :

$$\Delta(j) = -\frac{h_{pow}(j) A_{pow}(j) L t}{A(j) \lambda_{met}}$$

$$T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)(1 + \Delta(j)) = \Delta(j) T_{pow}(j)$$

$$T(1) = T_{bot}(i) \frac{h_{pow}(1) L t / \lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1) L t / \lambda_{met})} + T(2) \frac{1}{(1 + h_{pow}(1) L t / \lambda_{met})}$$

插入  $T(1)$  的压力表达式, 并且把问题表示为线性方程组:

$$1. \quad T(3) - 2T(2) + T(2) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{max})} = \Delta(1)T_{pow}(1) - T_{bott}(1) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{max}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{max})} (1 + \Delta(1)).$$

$$2. \quad T(4) - 2T(3) + T(2)(1 + \Delta(2)) = \Delta(2)T_{pow}(2)$$

$$i-2. \quad -2T(i-1) + T(i-2)(1 + \Delta(i-2)) = \Delta(i-2)T_{pow}(i-2) - T(i)$$

在矩阵形式中，这个方程组变为：

$$Ax=b$$

因而，这里：

$$A_{jk} = \delta(j+1-k) - 2\delta(j-k) + \delta(j-1-k)(1 + \Delta(j)) + \delta(1-k)\delta(1-j) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{max})}$$

$$x_1 = T(2), \dots, x_{i-2} = T(i-1)$$

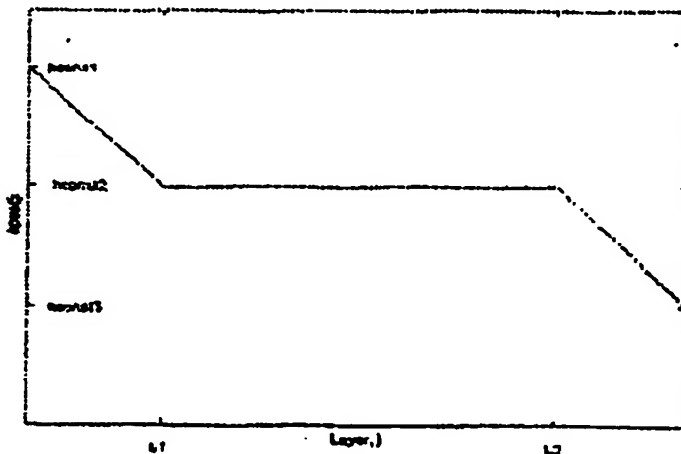
$$b_j = \Delta(j)T_{pow}(j) - \delta(j-1)T_{bott}(1) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{max}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{max})} (1 + \Delta(1)) - \delta(j-i+2)T(i)$$

为了能够求解这些方程，粉末的温度  $T_{pow}(j)$  和热传递系数  $h_{pow}(j)$  必须已知。在程序中， $T_{pow}(z)$  被设置为：

$$T_{pow}(j) = AT(j)_{i-1} + BT_{sur}(i-1)$$

$i-1$  表示使用前一层的温度，以确定  $T_{pow}(j)$ 。

用于  $h_{pow}(j)$  的函数就像这个：



已经假设值  $L1$  和  $L2$  是与区域无关的，而假设  $hconst1$ 、 $hconst2$  和以及  $hconst3$  依赖于  $A(j)$ 。通过用简单的几何方法把上述 1D 模型改写为物体上的 3D FEM 计算，已经产生了  $T_{pow}$  和  $h_{pow}$  的表达式中

的所有常量。

$Apow(j)$ 被包括在源项的表达式中,  $Apow(j)$ 实际上是整个朝向每一层粉末的面积。在大区域转换情况下, 这个值可能非常大, 这意味着源项值跳跃。这样的离散跳跃使解答不稳定。为了防止这种情况, 根据优选实施例,  $Apow(j)$ 被设为  $Lcont(j)*Lt$ 。然后添加由于区域转换产生的功率损失。功率损失的大小取决于区域转换在各个下面区域上多大以及它处于顶层以下多远。由 3D FEM 仿真产生不同区域转换以及不同深度的值。对于任意区域变换, 通过插值法获得附加的功率。

在计算功率前, 程序读取每一层的  $Lcont(j)*Lt$  和  $A(j)$  的不同值。借助于脚本文件, 能够以不同方式影响这些值。这样, 可能控制每一层的功率。用关于脚本文件如何运行的描述表现如何影响不同的几何参数。

在求解上述方程组的时候, 从表面的边界条件得到为将表面保持在  $Tsurf(i)$  所需的总功率:

$$P_{in} = A(i) \left( \frac{\lambda_{melt}}{Lt} (T(i) - T(i-1)) + \frac{(\sigma_{melt} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{surf}(i)^4) \right)$$

当熔合层时, 在表面上使用不同的电流和速度。为了能够计算所需要的不同电流, 使用的所有功率的平均值被设定为等于  $P_{in}$ 。如果使用  $n_1$  个不同的电流熔合层, 则:

$$P_{in} = \alpha U \frac{\sum_{k=1}^{k=n_1} I_{ik} t_{ik}}{T_{tot}}$$

$$t_{ik} = \frac{l_{ik}}{v_{ik}}$$

$$T_{tot} = \sum_{k=1}^{k=n_1} t_{ik}$$

其中  $t_{ik}$  表示每个电流  $I_{ik}$  的熔合时间

$l_{ik}$  是熔合长度

$v_{ik}$  是熔合速度

$T_{tot}$  是层  $i$  的总熔合时间

$U$  是加速电压

因此, 为了能够计算电流, 速度必须是已知的。从已知的表示电流和速度之间关系的速度函数中获得它们。因为这些函数不是解析的, 所以为了确定所有电流和速度, 必须使用迭代过程。在计算程序中, 推测  $i_{lk}$  的每个起始值。然后获得不同的速度。随后增加电流值直到功率平均值恰好超过计算值  $P_{in}$ 。

现在假设我们希望以这样的速度和电流熔合不同的部分区域, 使得传递给材料的能量小于为把表面保持在  $T_{surf}(i)$  所需的能量。于是, 表面必须被加热。通过在功率平均值表达式中添加加热项:

$$P_i^{heat} = \frac{n\alpha U l_i^{heat} I_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

以及在时间  $T_{tot}$  的表达式中添加加热时间:

$$t_i^{heat} = \frac{n l_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

来获得加热表面所需的次数, 其中  $n$  表示表面必须被加热多少次。

上述计算程序能够用于整个粉末层。在可选实施例中, 能够为粉末层的不同部分区域执行计算。上述等式也可以在这种情况下使用。然而, 对于靠近熔合体的内边界, 得到不同的边界条件。

附图 14 表示熔合后的物体 30 的侧视图, 通过熔合连续粉末层  $i-1, i-2, i-3, i-4$  中的部分区域 31-34 形成这个物体。当然, 根据本发明制造的实际物体可能具有比该例子所示更多的层。

在物体上散布顶粉末层  $i$ 。选定的区域 35 位于这个顶粉末层中。选定区域 35 包括要根据操作方案熔合的区域。层  $i$  中的选定区域 35 由外边界 36 限定。当然可以想到, 选定区域包括外边界和内边界。在整个选定区域 35 上将执行平衡计算。选定区域 35 优选地被划分为多个更小的部分区域, 如附图 15 所示, 因而可能为部分区域执行单独计算。



附图 15 表示被划分成多个更小部分区域 38-53 的选定区域 35, 并且为所述单独部分区域组 38-53 的每一个计算能量平衡。选定区域由外边界 72 划界。当然选定区域也能够包括内边界。

根据本发明另一个优选实施例, 所述单独部分区域组 38-53 包括第一组区域 54-58, 其边界完全位于选定区域 35 之内, 以及第二组区域 38-53, 其边界至少部分地与选定区域的边界 72 重合。在合适的地方, 所述第二组区域中的区域可以被分成子区域 38a, 39b; 48a-48d。形成所述第一组区域的部分区域 54-58 中的每一个优选地具有同样的形状。在图示的例子中, 这些区域是正方形的。可以有利地使用矩形、三角形以及六边形区域。除了可能的温度差异之外, 这一组中的边界条件也相似。在能够执行部分相同的计算时, 使用相似形状允许简化计算程序。

理论上, 根据  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$  计算能量平衡, 其中  $E^{in}(i)$  表示进入部分区域的能量,  $E^{out}(i)$  表示通过从部分区域耗散和辐射的能量损失,  $E^{heat}(i)$  表示存储在部分区域中。进入的能量一方面包括已经被辐射进来或者已经经由热传导从为其计算能量平衡的部分区域 35 的周围流入的能量  $E^{in(c)}$ , 另一方面包括已经从辐射枪 6 辐射进来的能量  $E^{in(s)}$ 。如果在能量已经被提供给部分区域 35 之前计算能量平衡, 则  $E^{in(s)} = 0$ 。根据本发明的优选实施例, 在已经经由辐射枪 6 提供能量之前, 至少为部分区域 35 执行第一能量平衡计算。

附图 16 概略地表示部分区域  $\Delta_1$  的能量平衡计算所基于的模型。在这个例子中, 部分区域  $\Delta_1$  对应于粉末层 i 的选定区域的一部分。在这个例子中, 计算能量平衡的等式表现为  $E^{in}(\Delta_1) = E^{out}(\Delta_1) + E^{heat}(\Delta_1)$ , 其中  $E^{in}(\Delta_1)$  表示进入部分区域的能量,  $E^{out}(\Delta_1)$  表示从部分区域  $\Delta_1$  耗散和辐射的能量损失,  $E^{heat}(\Delta_1)$  表示存储在部分区域  $\Delta_1$  内。进入的能量一方面包括已经被辐射进来或者经由热传导从部分区域  $\Delta_1$  的周围流入的能量  $E^{in(c)}(\Delta_1)$ , 另一方面包括已经从辐射枪 6 辐射进来的能量  $E^{in(s)}(\Delta_1)$ 。

附图 17 概略地表示层 i 中选定区域 35 的第二部分区域  $\Delta_2$  的能量

平衡计算所基于的模型。在这个例子中, 部分区域  $\Delta_2$  对应于粉末层  $i$  的选定区域 35 中仍然未被熔合的、与粉末层  $i$  中第一部分区域  $\Delta_1$  相邻的部分, 其中从所述第一到所述第二部分区域进行辐射或热传导。在这个例子中, 计算能量平衡的等式表示为  $E^{in}(\Delta_2) = E^{out}(\Delta_2) + E^{heat}(\Delta_2)$ , 其中  $E^{in}(\Delta_2)$  表示进入部分区域的能量,  $E^{out}(\Delta_2)$  表示从部分区域  $\Delta_1$  耗散和辐射的能量损失,  $E^{heat}(\Delta_2)$  表示存储在部分区域  $\Delta_2$  内。进入的能量一方面包括已经被辐射进来或者通过热传导从部分区域  $\Delta_1$  的周围流入的能量  $E^{in(c)}(\Delta_2)$ , 另一方面包括已经从辐射枪 6 辐射进来的能量  $E^{in(s)}(\Delta_2)$ 。通过热传导所提供的能量  $E^{in(c)}(\Delta_2)$  包括对应于从前一层所提供的能量的分量  $E^{in(s)}(\Delta_2, i-1)$ , 并且也包括对应于已经从第一部分区域  $\Delta_1$  耗散或辐射的、并且被提供给第二部分区域  $\Delta_2$  的能量的  $E^{out}(\Delta_1, \Delta_2)$ 。

根据附图 18, 根据本发明的优选实施例, 装置还包括用于感测位于粉末床中的表面层表面特性的单元 14。这个用于感测位于粉末床 5 中的表面层温度分布的单元 14 优选地包括摄像机。在本发明的优选实施例中, 摄像机一方面用于测量表面层上温度分布, 另一方面用于借助于表面不规则引起的阴影形成来测量表面不规则的出现。一方面, 关于温度分布的信息被用于使要熔合的表面层部分上的温度分布尽可能均匀, 另一方面, 可以使用信息, 以便检查所产生的三维产品和原始设计之间的任何尺寸偏差, 这是因为温度分布反映产品的形状。在本发明的优选实施例中, 视频摄像机被安装在封闭着粉末床 5 和辐射枪 6 的壳体 15 的外侧。为了使温度测量成为可能, 壳体具有透明窗 16。摄像机可以透过这个窗口观察粉末床 5。

在如附图 19 所示的本发明优选实施例中, 窗口 16 覆盖有保护膜 17。保护膜从送出单元 18 输送到收集单元 19, 薄膜被逐渐更换, 这意味着能够维持透明度。由于熔合过程的原因, 保护膜需要作为涂层形式。

以下将结合附图 20 的说明来阐述关于产生和修正操作方案的详细说明。

附图 20 概略地表示根据本发明的制造三维物体的方法。通过连续熔合粉末床选定区域形成三维物体，这些部分对应于三维物体的连续截面。

在第一方法步骤 100 中，将粉末层散布到工作平台上。通过上述单元 28 在工作平台 2 上散布粉末薄层而实现散布。

在第二方法步骤 110 中，根据为粉末层确定的操作方案，从辐射枪向粉末层中选定区域提供能量，随后根据所述操作方案熔合选定的粉末层区域，以形成所述三维物体的截面。通过连续熔合从连续散布的粉末层中连续地形成的截面而形成三维物体。连续截面被分成一个或多个内部区域 II，每个内部区域具有边界 R。

根据本发明第一实施例，以这样的方式设计操作方案，使得在第一过程步骤中，辐射枪熔合一组相邻部分区域的内部区域 II，然后在随后的第二过程步骤中，所述边界 R 被熔合并且连接所述部分区域。

根据本发明的可选实施例，在第一过程步骤中为大量连续粉末层熔合边界，然后在对于所述连续粉末层共同的第二过程步骤中熔合所述连续粉末层的内部区域。

根据本发明第二实施例，设置操作方案，以借助于随机数发生器确定处理所述众多较小部分区域的优先级。

在本发明的优选实施例中，在辐射枪射束焦点移动图案期间熔合内部区域，焦点移动图案包括主运动方向和被添加到所述主运动方向上的干扰项，并且干扰项在与主运动方向成直角的方向上具有分量。根据优选实施例，在辐射枪射束的主要为直线的运动期间熔合边界。

在优选实施例中，在第三方法步骤 120 中至少为每个粉末层中要熔合的选定区域计算能量平衡，在计算中确定从选定区域周围辐射进选定区域的能量是否足以维持选定区域的规定工作温度。根据上述模型进行计算。

附图 21 概略地表示用于产生基本操作方案的流程。在第一步骤 40 中，例如在 CAD 程序中产生要制造的产品 3D 模型，或者可选地将要制造的产品已经产生的 3D 模型输入到控制计算机 8。然后，

在第二步骤 41 中，产生包含关于产品横面外形信息的矩阵。附图 25 表示具有相关横面 31-33 实例的锤子模型。这些横面也表示在附图 26a-26c 中。为了形成最终产品，以对应于要熔合的不同层的厚度的密度来分布横面。厚度有利地不同层之间变化。使在相邻层之间横面外形变化很大的区域中的层较薄是有利的。因此，在产生横面时，创建包含关于共同构成三维产品的所有横面的外形信息的矩阵。

一旦已经产生横面，则在第三步骤 42 中为每个横面产生基本操作方案。基本操作方案的产生一方面是基于对构成横面的部分的形状辨识，另一方面是基于关于操作方案如何影响横面上局部部分的冷却温度的知识。目的在于创建这样一种操作方案，其允许在微布下一层之前熔合的部分中的冷却温度尽可能均匀，同时冷却温度被保持在希望的范围，以便减少产品中出现收缩应力的风险，并且减少产品中出现的、导致产品的变形的收缩应力的量级。

首先，基于横面的独立组成部分的外形产生基本操作方案。在产生时，识别每个横面的边界和内部区域。在合适的地方，形成一组内部区域，每个内部区域具有边界。根据本发明，为内部区域产生操作方案，操作方案具有辐射枪焦点的移动图案，移动图案包括主移动方向和干扰项，干扰项被添加到所述主移动方向上，并且在与上述主移动方向成直角的方向上具有分量。在边界上，辐射枪的焦点以主要为直线的移动图案进行移动。这意味着辐射枪是沿着边界的外形。

因此，在本发明的优选实施例中，基于操作方案提供横面冷却温度的良好温度分布的经验设计基本操作方案，于是可能减小导致产品变形的、产品中收缩应力的风险。为此，在存储器中存储一组用于不同形状区域的操作方案。以这样的方式设计根据本发明的操作方案，使得在内部区域 II 中，辐射枪的焦点在移动图案中移动，移动图案包括主移动方向和干扰项，干扰项被添加到所述主移动方向上，并且在与主移动方向成直角的方向上具有分量。除了这个信息，操作方案可以包括顺序列表，一组内部区域以该顺序被处理；关于加热不同区域的信息；以及关于能量供给和扫描速度的信息。在优选实施例中，评

估操作方案的修正导致更新这个存储器，获得了自学习的系统。

在本发明的可选实施例中，由独立计算机产生的已经完成的截面被输入到控制计算机中的存储器，在那里产生所述基本操作方案。在这种情况下，信息通过外部源 40a 直接提供给第三步骤 42。

附图 22 概略地表示用于产生三维物体的流程，这个流程包括用于计算层的能量平衡的方法步骤。在第一方法步骤 130 中，确定能量平衡计算所基于的参数。在第二方法步骤 140 中，进行至少用于选定区域 35 的能量平衡计算。根据之前所述的方法进行计算。

在第三方法步骤 150 中，根据计算的能量平衡来更新操作方案。如果能量平衡的结果是，选定区域中存储有足以维持希望的工作温度的热能，则不进行额外的能量供应。根据本发明的一个实施例，如果能量平衡的结果是选定区域中没有存储足以维持希望的工作温度的热能，则在进行熔合之前，以预热选定区域的形式进行额外的能量供应。可以通过辐射枪非常快速地在该区域上方扫掠、或者辐射枪以低于正常状态的能量在该区域上方扫掠、或者这两者的组合，来实现这个预热。在第四方法步骤 160 中进行预热。

在第五方法步骤 170 中，通过辐射枪在选定区域上扫掠来实现熔合。

附图 23 概略地表示了本发明的实施例，其在恰当的地方使用上述用于产生和修正操作方案的方法。在第一方法步骤 180 中，识别选定区域的一个或多个内部区域 II。在第二方法步骤 190 中，识别与所述内部区域相关的并且包围着所述内部区域的边界或多个边界。在第三方法步骤 200 中，在辐射枪所发射的射束的部分重叠的圆周运动期间熔合所述内部区域 II。在第四方法步骤 210 中，在射束的直线运动期间熔合所述边界。对于使用依据本发明的具有干扰项的移动图案的处理，以及对于进行能量平衡计算的处理，修正的等级较小。然而，能够使用修正，以进一步改善最终结果。

根据本发明的一个实施例，设置操作方案以连续地熔合一个区域内的粉末，每一次熔合所述内部区域内的粉末。



根据本发明的优选实施例，设置控制计算机以将每个粉末层中的表面分成一组单独的区域。也设置计算机以确保在辐射枪射束的部分重叠的圆周运动期间熔合所述第一组区域中一组区域的所述内部区域。

在本发明的一个实施例中，以上述包括干扰项的焦点移动图案进行所述第二组区域中内部区域的熔合。在本发明的可选实施例中，以主要为直线的移动进行所述第二组区域中内部区域内的熔合。

根据本发明的优选实施例，在上述涉及将选定表面划分为更小的部分表面的实施例的情况下，使用上述能量平衡计算，以便针对射束功率校准以及在最终熔合发生之前提供能量以加热粉末床来控制操作方案。

附图 23 概略地表示了包括借助于从测量粉末床表面上温度分布的摄像机中所获得的信息修正操作方案的流程。根据流程，来自辐射枪的射束被引导到粉末床上，以便产生产品的表面。在第一步骤 50 中，开始根据步骤 42 中定义的基本操作方案将射束引导到粉末床上。在下一个步骤 51 中，用摄像机检测粉末床表面层上的温度分布。然后，根据测量的温度分布产生温度分布矩阵  $T_{ij\text{-measured}}$ ，其中存储有粉末床表面层的小部分区域的温度。在产生矩阵时，矩阵中的每个温度值  $T_{ij\text{-measured}}$  与期望值矩阵  $T_{ij\text{-desired value}}$  中的期望值相比较。粉末床表面层可以被大致划分成三类。首先是其中通过辐射枪处理而发生熔合的区域。在这些区域中，关心的是最大的熔合温度  $T_{ij\text{-max}}$ 。其次是已经被熔合并因此正在冷却的区域。在这些区域中，关心的是允许的最小冷却温度  $T_{ij\text{-cooling-min}}$ ，这是因为冷却温度太低会引起应力并且由此引发表面层的变形。第三是还没有被辐射枪处理过的区域。在这些区域中，关心的是床温  $T_{ij\text{-bed}}$ 。也可能只比较处理过的区域的温度，因而  $T_{ij\text{-bed}}$  不被存储和/或检查。

在第三步骤 52 中，调查  $T_{ij\text{-measured}}$  是否偏离期望值  $T_{ij\text{-desired value}}$ ，以及偏离是否大于允许的极限值。在控制计算机中存储与三种不同分类相关的极限值  $\Delta T_{ij\text{-max}}$ 、 $\Delta T_{ij\text{-cooling}}$  以及  $\Delta T_{ij\text{-bed}}$ 。也可能不检查床温。

在这种情况下，不存储相关的极限值。如果  $T_{ij\text{-measured}}$  和  $T_{ij\text{-desired value}}$  之间的偏差没有超过这个极限值，则在第四步骤 53 中调查表面层是否被完全处理。如果不是这种情况，则继续根据当前操作方案的操作，上述方法步骤 50-53 被从头到尾再运行一次。

如果  $T_{ij\text{-measured}}$  和  $T_{ij\text{-desired value}}$  之间的偏差超过其中一个所述极限值，则在第五步骤中进行修正操作方案 42。在优选实施例中，根据附图 24 所示的系统来执行所述修正。

在本发明的优选实施例中，只有在完成每一个层之后才散布新的粉末层，通过连续熔合粉末层直到产品完成来构造产品。在这种情况下，如果已经在第四步骤 53 确定已经完成层的操作方案时产品作为整体还没有被完成，则在第六步骤 55 之后开始新的层。

在优选实施例中，操作方案的修正包括下列方法步骤：

在第一步骤 56 中，比较  $T_{ij\text{-max}}$  和  $T_{ij\text{-max-desired value}}$ 。如果  $T_{ij\text{-max}}$  偏离  $T_{ij\text{-max-desired value}}$  超过  $\Delta T_{ij\text{-max}}$ ，则在步骤 56a 中通过改变射束功率或改变射束扫描速度来校准给粉末层的能量供应。

在第二步骤 58 中，比较  $T_{ij\text{-cooling}}$  和  $T_{ij\text{-cooling-desired value}}$ 。如果  $T_{ij\text{-cooling}}$  偏离  $T_{ij\text{-cooling-desired value}}$  超过  $\Delta T_{ij\text{-cooling}}$ ，则在步骤 58a 中改变射束的操作方案。存在很多改变射束操作方案的方法。一种改变操作方案的方法是允许射束在区域冷却过度之前重新加热它们。于是，辐射枪可以以较低的能量强度和/或以较高的扫描速度在已经熔合的区域上方扫描。

在第三步骤 60 中，调查  $T_{ij\text{-bed}}$  是否偏离  $T_{ij\text{-bed-desired}}$ 。在本发明的一个实施例中，如果偏差大于  $\Delta T_{ij\text{-bed}}$ ，则可以在步骤 60a 中修正床温，例如通过使射束在床上方扫描以提供能量。也可能将单独的床加热设备连接到装置上。

也可能用安装在装置上的热摄像机来检查被制造物品的尺寸。如上所述，测量床和已经被熔合的部分。测量的热分布完全反映要制造的三维物体的横面中的对象的形状。以这种方式，在第四步骤 62 中能够实现物体尺寸的检测，从而可能反馈辐射枪射束的 X-Y 偏转。在本

发明的优选实施例中，在步骤 62a 中进行这种截面尺寸之间偏差的检查，并且如果偏差大于允许值，则修正辐射枪的 X-Y 偏转。

而且，来自摄像机的输入信号也能够被用于识别表面不规则的出现，例如以焊接火花的形式。在已经识别表面不规则的坐标时，可以更新操作方案，使得命令辐射枪到被识别的坐标，以便熔化表面不规则。

本发明不限于上述的说明性实施例；辐射枪可能包括例如激光，在这种情况下，偏转设备包含可导向镜面以及/或者透镜。

本发明可以还可用于通过从能量源向产品原料传递能量从而制造三维产品的装置，这种装置包括工作平台，在这个工作平台上构建所述三维产品；散布器，设置该散布器，以在工作平台上散布产品原料的薄层从而形成产品床；用于传递能量给产品床表面选定区域的单元，允许产品原料的相变以在所述区域内形成固态截面；以及控制计算机，其管理存储器，该存储器中存储有关于三维产品连续截面的信息，这些截面形成该三维产品，其中控制计算机用于控制所述用于传递能量的单元，使得能量被提供到所述选定区域，通过连续连接由散布器连续散布的产品原料连续形成的截面来形成所述三维产品。

在这种情况下，实施例不限于通过辐射枪照射粉末床表面来熔合粉末。产品原料可以包括在相变之后形成固体，例如在熔合或硬化之后凝固，的任何材料。能量传递单元可以包括对准工作表面的电子枪或激光，或者能够直接将截面投射到产品床上的能量传递设备。

而且，上述实施例具有前述实施例所描述的所有特征。





图2

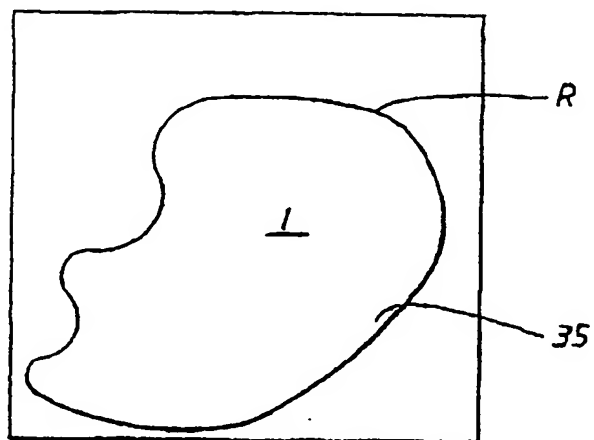


图3

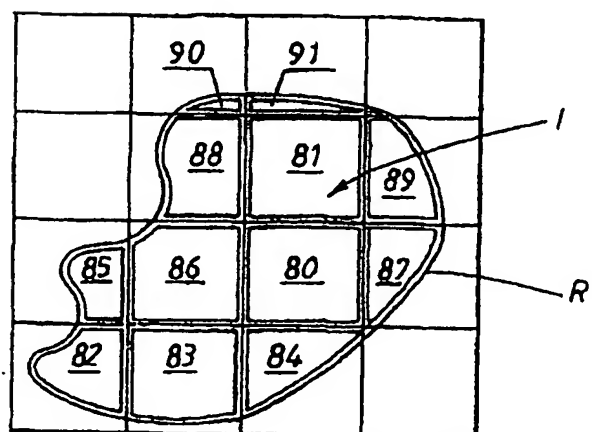


图 4

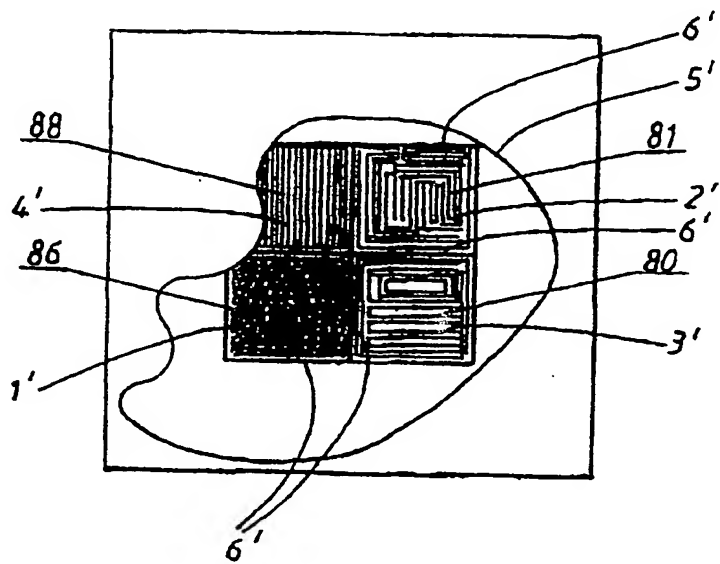


图 5

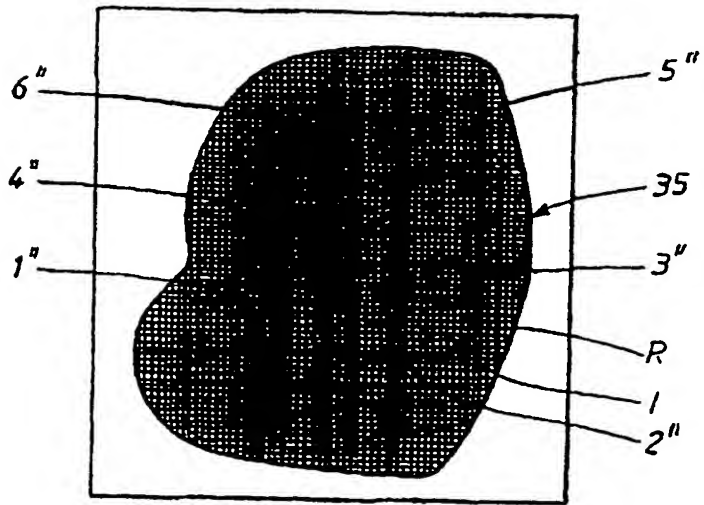


图6

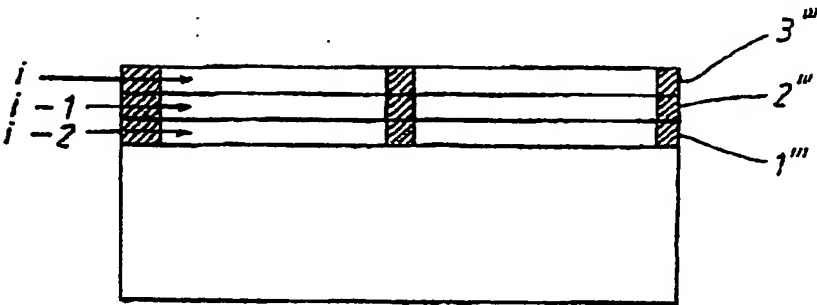


图7

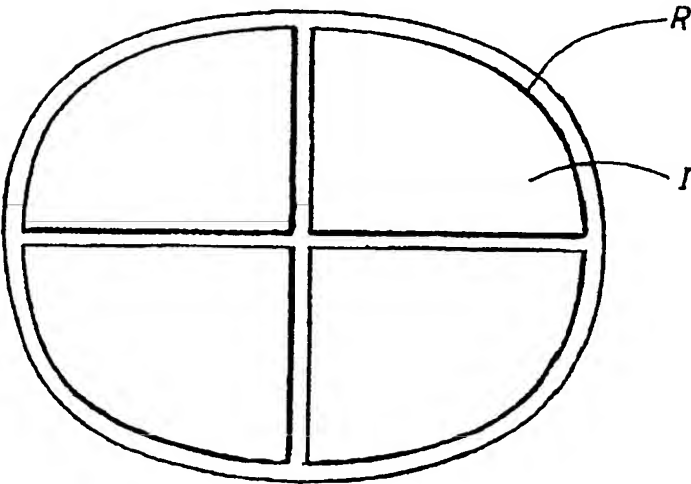


图 8

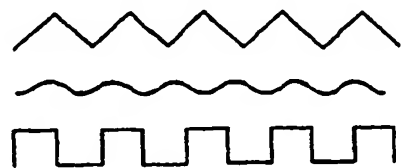


图 9

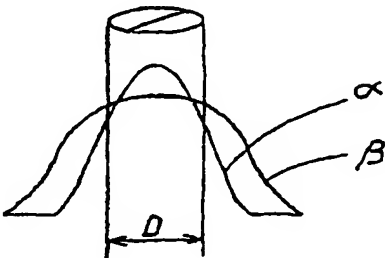


图 10

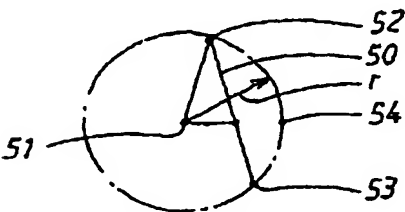


图 11



图 12

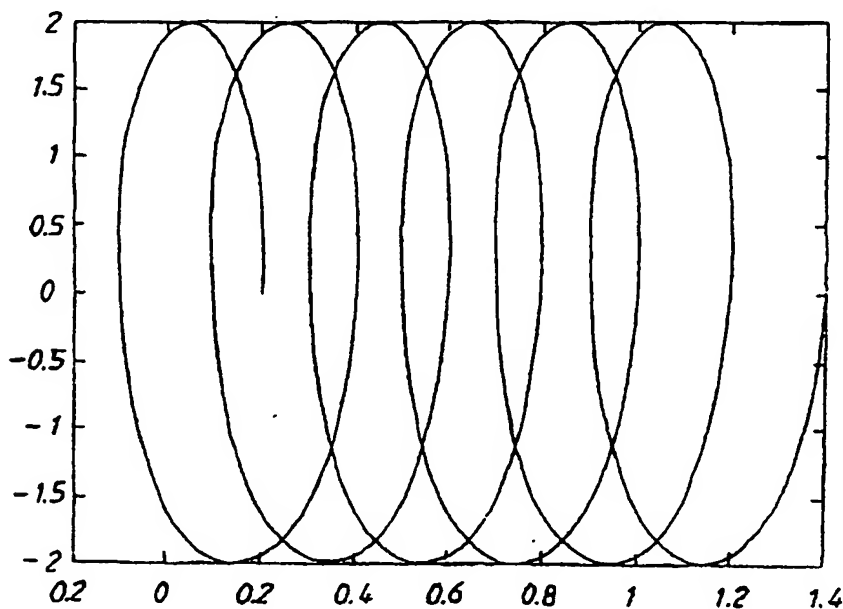


图 13

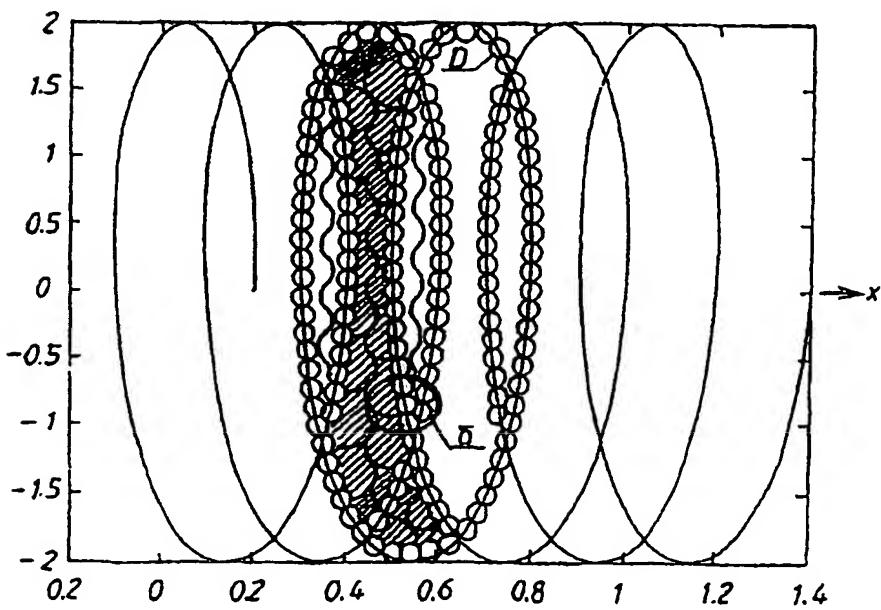


图14

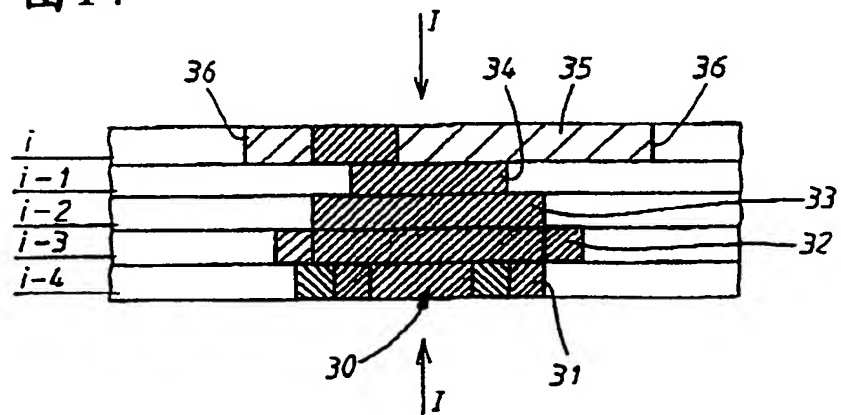


图15

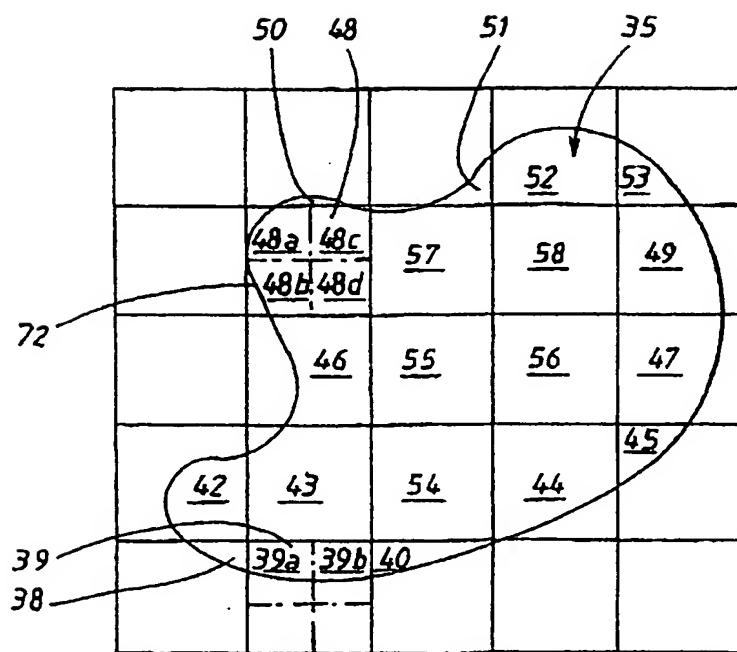


图 16

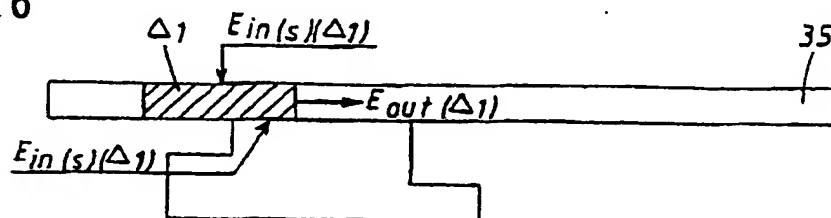


图 17

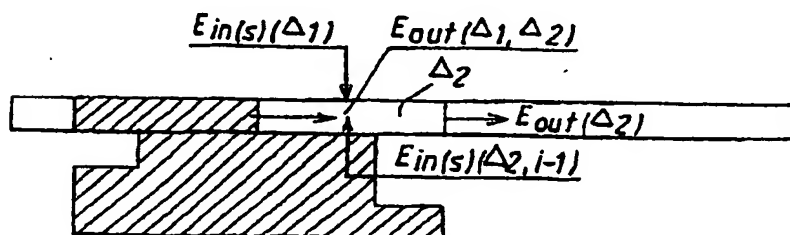


图 18

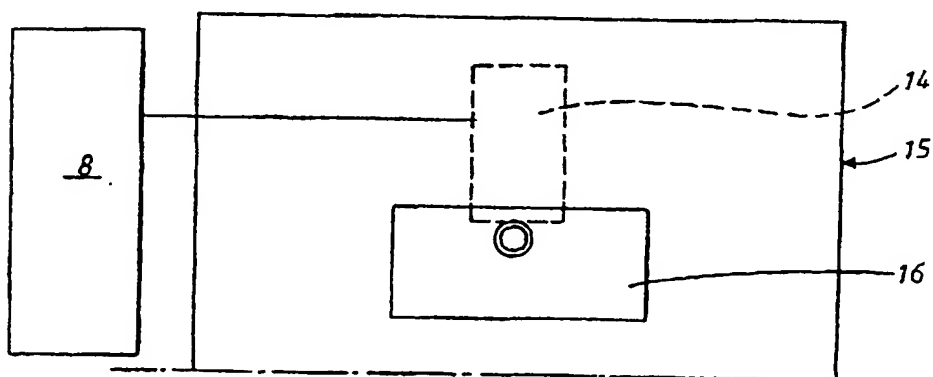


图 19

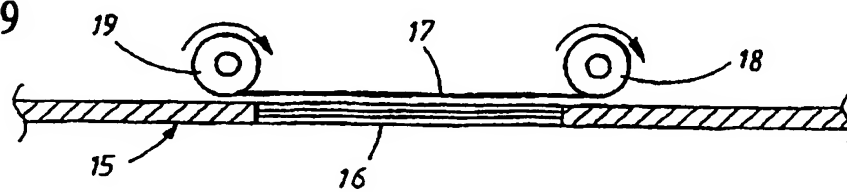




图 20

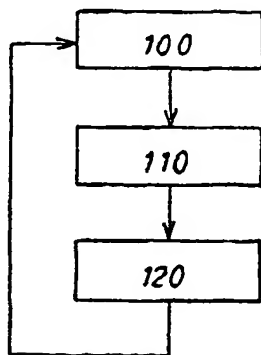


图 21

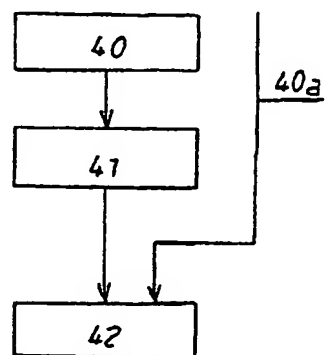


图 22

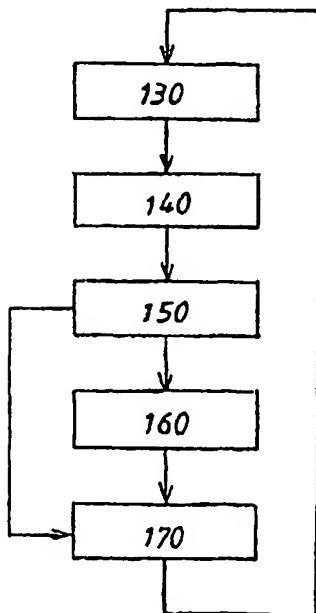


图 23

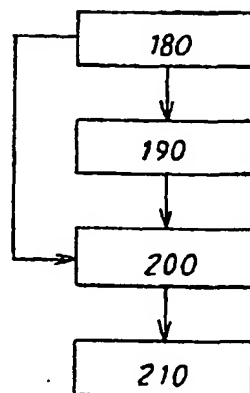


图 24

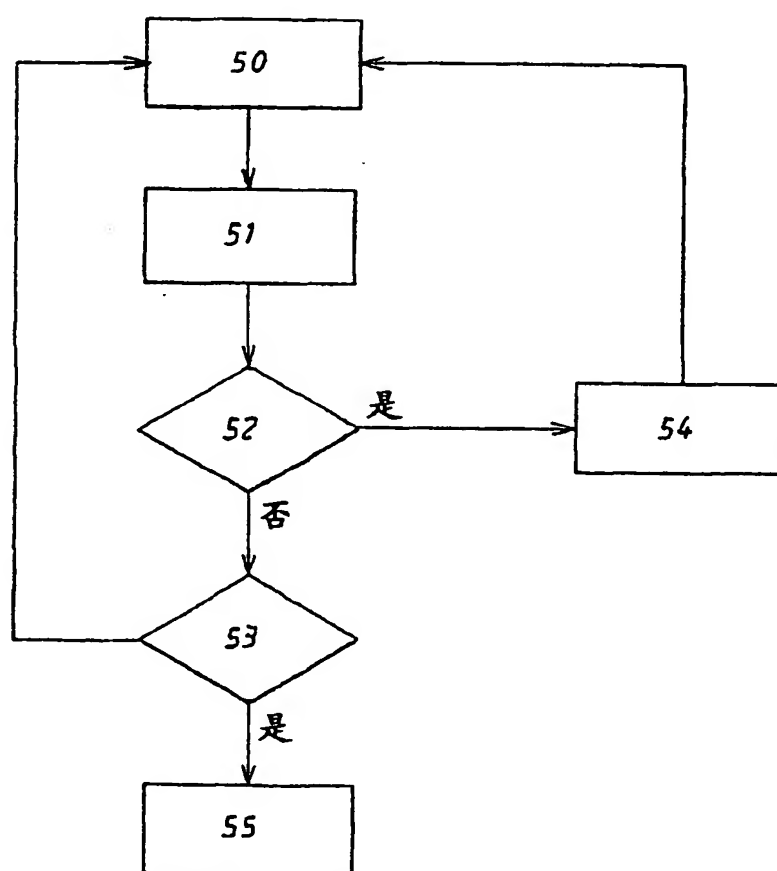


图 25

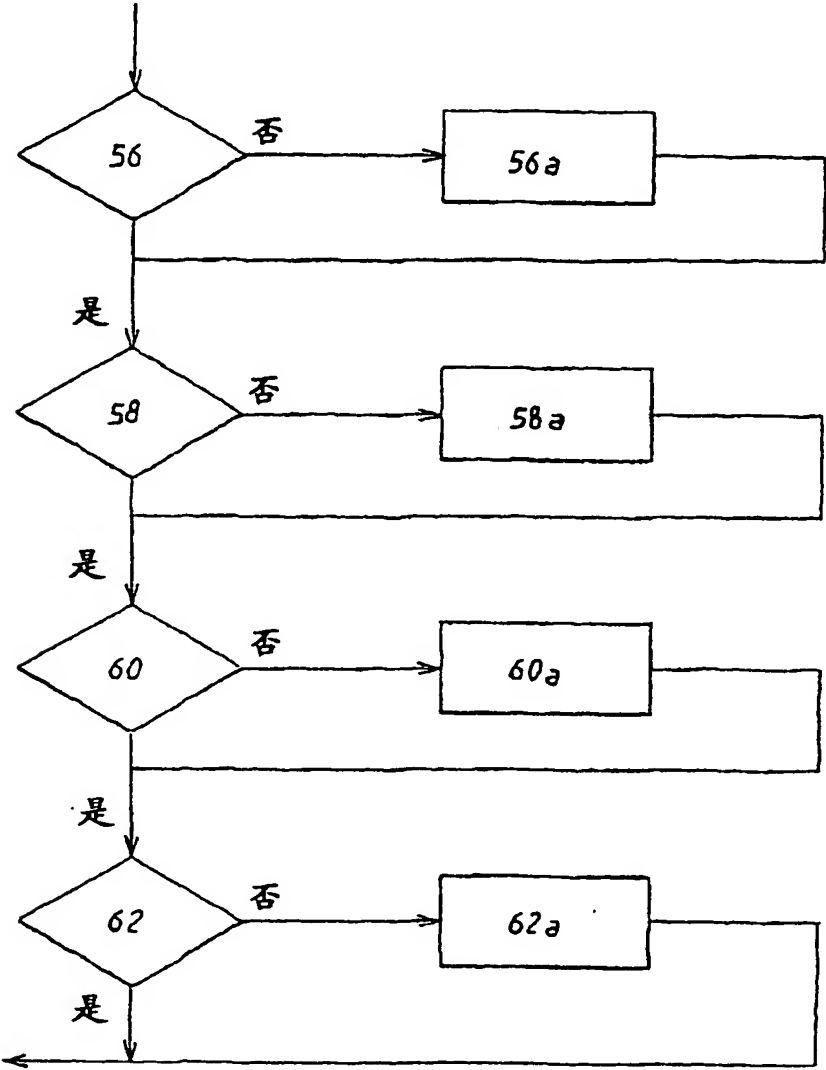


图 26

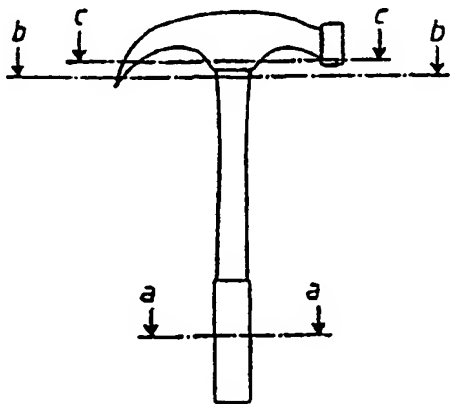


图 27

